

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

Arto Savonen

**KALLIORAKENNUSTYÖMAIDEN TOTEUMATIETOJEN
KERUUJÄRJESTELMÄ**

Työn valvoja
Työn teettäjä
Tampere 2007

TkL Reijo Rasmus
Skanska Infra Oy Teuvo Suominen

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Arto Savonen

Tutkintotyö

Työn valvoja

Työn teettäjä

Helmikuu 2007

Hakusanat

Kalliorakennustyömaiden toteumatietojen keruujärjestelmä

26 sivua + 5 liitettä (5 sivua liitteitä)

TkL Reijo Rasmus

Skanska Infra Oy Teuvo Suominen

injektointi, ruiskubetonointi, kallion lujittaminen, pulttaus

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tarkoituksena oli saada käyttöön tiedot toteutuneista kalliorakennustyömaan lujitustöistä. Toteumatiedot tulevat seuraavien projektien ja urakalaskennan käyttöön. Toteumatietojen keräämisen on oltava vaivatonta, tulostettavan aineiston selkeää ja tiedonkeruun työmailla jatkuvaa. Työn pää tavoitteena oli löytää merkittävimmät kallion lujituksen tarpeeseen vaikuttavat tekijät. Työ tehtiin Skanska Infra Oy:n toimeksiannosta.

Opinnäytetyössä kallion lujitustyöt pilkottiin osatekijöihin, joiden keskinäiset suhteet luovat kallion lujittamisen toimivan rungon. Kallion lujittamisen keskeisimmät asiat selvitettiin, jolloin eri prosessien kokonaiskuva hahmottui selkeäksi. Kallion lujitustöiden eri työvaiheiden materiaalimenekkejä seurattiin tiiviisti, ja ne raportoitiin E18 tunnelityömaiden tiedostoihin. Toteumatietoja käytetään hyväksi selvittäessä, miten aikataulut ja massamäärät pitävät paikkansa, kun niitä verrataan tarjousvaiheen tietoihin.

Työ koostuu kirjallisuusselvityksestä ja soveltavasta osasta, joka muodostuu työmaatietojen keräämisestä. Työn johtopäätökset ja yhteenveto-osio käsittelee työn merkityksen tärkeyttä siinä tapauksessa, että jatkossa jossakin tunnelin osassa tulee ongelmia. Tulevissa tarjouksissa voidaan injektoinnin osalta tehdä tarkkoja kustannuslaskelmia, jotka nojaavat E18 projektin toteutumati-
tietoihin. Toteumatietojen sijoittaminen järjestelmään antaa luotettavat tiedot töiden etenemisestä.

TAMPERE POLYTECHNIC

Department of Construction Technology

Arto Savonen

Fact information for rock engineering works

Engineering Thesis

26 pages, 5 appendices (5 appendix pages)

Supervising Teacher

Mr Reijo Rasmus, Lic. Tech.

Commissioner

Skanska Infra Corporation

Supervisor

Mr Teuvo Suominen,

February 2007

Key words

Grouting, sprayed concrete, rock support, bolting, drilling

ABSTRACT

The background for this thesis was to get in use fact information from rock engineering worksites consolidation parts. Information facts will be used in the coming projects and contract cost estimation. Information facts collecting must be very easy. Printing material must be clear. Collecting fact information from the worksites must be continuous. The main objective of this work was to determine the most important factors affecting the rock consolidation. Skanska Infra Corporation commissioned the work.

The rock consolidation main parts are examined from the outset in the order to provide a clear overall picture of these different processes. Different work stages of rock consolidation consumer materials were followed close and the results were reported to E-18 tunnel worksites files.

This thesis breaks the rock consolidation works into separate parts, the mutual dependencies of which combine to form a functional framework for rock consolidation. The thesis comprises a literature review, and an applied section consisting of worksite facts information. The fact information will be used clearing how timetables and mass amounts hold true comparing offer period time facts. The conclusions and summary section of the work summarises rock consolidation works the most important facts information of working materials.

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Skanska Infra Oy:n kalliorakennusyksikön E18 tunneli-työmaalla Karnaisissa Lohjalla. Erityisesti haluan kiittää työn valvojaa Reijo Rasmusta ja työn ohjaajaa rakennuspäällikkö Teuvo Suomista erittäin mielenkiintoisesta ja laaja-alaisesta aiheesta. Kiitän myös työmaan projekti-insinöörejä Ville Järvistä ja Aki Kirvesniemeä saamastani tuesta ja avusta. Erityiskiitos Bo Hedbergille, joka kokemuksellaan auttoi injektoinnissa.

Haluan kiittää Jukka Uunilaa ja Kalevi Tuomista Urheilijoiden Ammatinedistämissäätiöltä saamastani apurahasta. Painonnoston olympiavoittaja Kaarlo Kangasniemelle kiitos kannustuksesta. Loimaan kaupungilta kiitän lähimpiä työtovereitani Tauno Puntaa, Sari Mörskyä, Esa Rouhiaista, Harri Salmista ja Hannu Salminiittyä saamastani tuesta. Jarkko Kantolalle kiitos saamastani tietojenkäsittelyn opetuksesta. Suurin kiitos perheelleni ja äidilleni avusta ja tuesta opiskelujeni aikana.

Loimaalla 5.2.2007

Arto Savonen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

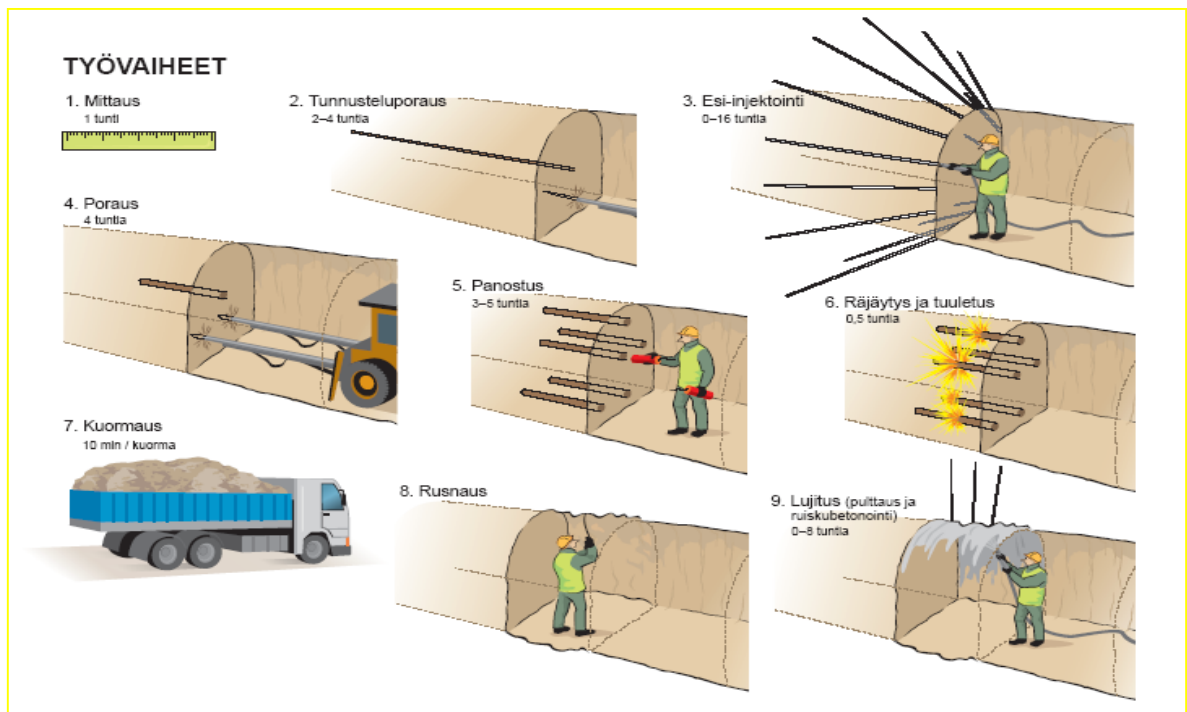
SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO.....	6
1.1 Työn tausta	6
1.2 Työn tavoitteet ja rajaus	7
2 LUJITUSTYÖT KALLIORAKENTAMISESSA.....	7
2.1 Yleistä kallion injektoinnista.....	7
2.2 Injektointireikien poraus.....	8
2.3 Vesimenekkikoe	10
2.4 Sementtipohjaisten injektointimassojen laadunvalvonta.....	10
2.5 Pulttaus	12
2.6 Harjateräspultit	12
2.7 Juotoslaasti	13
2.8 Pulttien juotostyö.....	13
2.9 Pultitustöiden laadun valvonta	14
2.10 Ruiskubetonointi.....	14
3 MATERIAALIEN SEURANTA.....	17
3.1 Aiempi seuranta.....	17
3.2 Työvaiheiden osittelu ja jako eri osa-alueisiin	17
3.3 Injektointityön osittelu.....	17
3.4 Pultitustöiden osittelu	18
3.5 Ruiskubetonoinnin osittelu	18
4 TIETOJEN KERUU OSA-ALUEITTAIN.....	19
4.1 Injektointipöytäkirja	19
4.2 Pultituspöytäkirja.....	19
4.3 Ruiskubetonipöytäkirja.....	19
5 TIETOJEN SIOITTAMINEN JÄRJESTELMÄÄN.....	20
5.1 Injektointisementin kulutusseuranta.....	20
5.2 Pultituksen seuranta.....	23
5.3 Ruiskubetonoinnin seuranta	24
5.4 Raportointi	24
6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO	25
LIITTEET	

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Lähtökohtana työn tekemiselle oli työmaalta saatavien toteumatietojen hyödyntäminen käytössä tai työnsuunnittelussa ja urakkalaskennassa. Kalliorakentamisen kasvun takia kustannusrakenteen tutkiminen edellytti eri materiaalimenekkien selvittämistä kalliorakentamisen lujitus- ja tiivistystöissä. Työssä tarkasteltiin injektointin, pulttauksen ja ruiskubetonoinnin määriä ja niiden vaikutusta työmaan aikatauluun. Työvaiheiden kustannustehokkuuden nostamisen kautta pyritään jatkossa vaikuttamaan kokonaiskustannuksiin alentavasti.



Kuva 1 Kuvasarja tunnelin tekemisen työvaiheista/7/

1.2 Työn tavoitteet ja raja

Työn tavoitteena oli selvittää kallioon rakennettavien tunneleiden lujitustöiden kustannusrakenteita ja -riippuvuuksia sekä eri lujitustöiden avaintekijöitä. Työssä selvitettiin erilaisten töiden materiaalimenekkejä ja tunnelitöiden etenemistä. Tarkoituksena on keskittyä tärkeimpiin kustannustekijöihin ja toimia jatkossa kustannustehokkaammin. Tavoitteena oli dokumentaation luomisen kautta eri työvaiheiden tehokkuuden nostaminen kustannustehokkaasti siten, että vaaditut laatu- ja turvallisuusvaatimukset saavutetaan. Jokaisen lujitustyövaiheen merkitys on tärkeä lopputuloksen kannalta, joten yhdenkin työvaiheen epäonnistuminen voi aiheuttaa suuret vahingot. Kaikki työvaiheet edellyttävät ammattitaitosta henkilökuntaa.

Työssä käsitellään pääasiassa eri lujitustyövaiheiden keskeisimpiä osatekijöitä. Kaikkia tekijöitä ei käsitellä yhtä laajasti. Suurin huomio keskittyy injektoinnissa, pulttauksessa ja ruiskubetonoinnissa kertyviin tuotannon kokonaismääriin. Ruiskubetonoinnissa käsitellään märkäseosmenetelmää, jossa on 40 mm teräskuituseos. Louhintatyökohde, jota tarkastellaan, on Karnaisten E18 liikennetunnelit Lohjalla. Opinnäytetyön tietoina käytetään Skanska Infra Oy:n louhintatyömailta kerättyjä todellisia tietoja. Raaka-aineiden kustannukset eivät ole tiedossa.

2 LUJITUSTYÖT KALLIORAKENTAMISESSA

2.1 Yleistä kallion injektoinnista

Nykyinen käytäntö kalliorakentamisessa on, että pohjavesialueilla maanalaiset kalliotilat ja rakennusten avokaivannot esi-injektoidaan louhinnan yhteydessä. Esi-injektoinnin tavoitteena on ensisijaisesti tiivistää kallio vesivuotoja vastaan. Kallion tiivistämisellä pyritään estämään pohjaveden vuotaminen kalliotilaan. Kallion tiiveydelle on asetettu usein rakennuttajan toimesta rajat sille, kuinka paljon vesivuotoja sallitaan rakennettavaan kalliotilaan. Kallion tiivistystarpeeseen vaikuttavat ympäristötekijät, kalliotilalle asetettavat vaatimukset ja kallion laatu. Injektoinnin toissijaisena tehtävänä on kallioseinämien pysyvyyden varmistaminen.

Tiivistystarpeeseen vaikuttavia ympäristötekijöitä ovat vaikutusalueella sijaitsevat rakennukset, rakenteet, pohjaveden pinnan taso, virtaussuunnat sekä maakerrosten laatu. Suurimmat haitat aiheutuvat rakennusten ja maanpinnan painumisesta, puupaalujen lahoamisesta sekä kaivojen kuivumisesta.

Kallion injektointi tehdään sementtiseoksella, jossa voidaan käyttää virtausta ja paisumista edistäviä lisäaineita. Injektointipaine valitaan aina kohteen mukaan sellaiseksi, ettei se riko vahvistettavaa rakennetta. Injektointipaine vaihtelee välillä 0,05–1,0 MPa. Injektointimassan vesisementtisuhte vaihtelee välillä 0,5:1–4:1. Injektoinnin alkuvaiheessa käytetään laihaa seosta ja injektoinnin edistyessä sakeampaa seosta./1/



Kuva 2 Injektointiyksikkö tunneliperässä ja injektointi käynnissä

2.2 Injektointireikien poraus

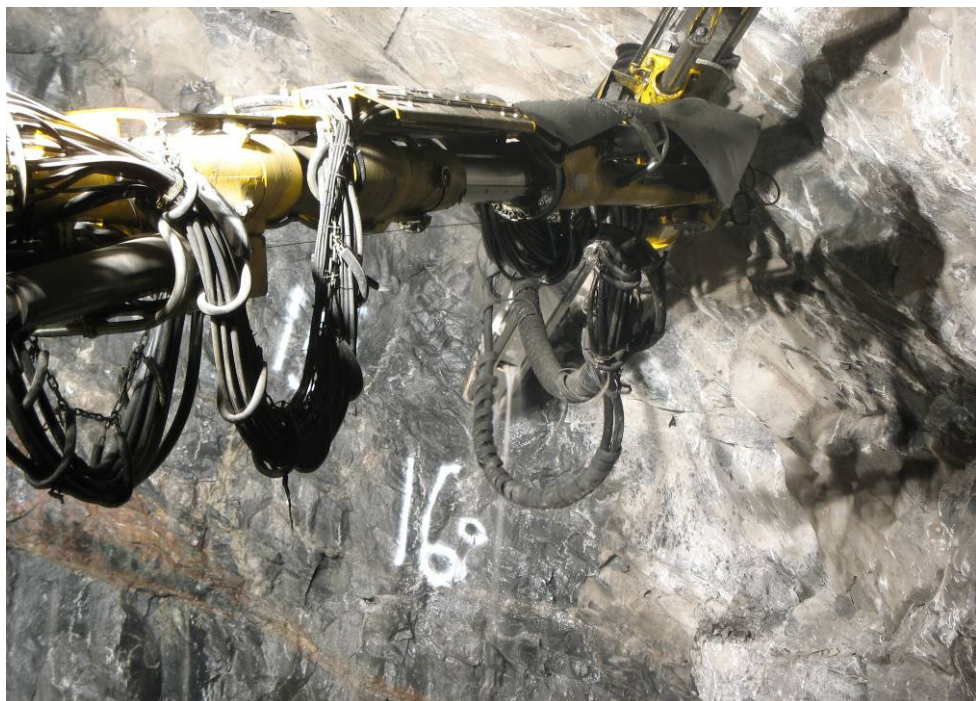
Ensin tunneliperässä porataan tunnustelureiät, joista tehdään vesimenekkikokeet. Injektointireikien porauskaavio valitaan tunnustelureikien vesimenekkikokeiden perusteella (liitteet 3 ja 5). Porarin on tehtävä havaintoja kallion rikkonaisuudesta ja vesivuodoista. Kuvissa 2 ja 3 porausjumbo poraa reikiä tunneliperään. Injektointirei'istä saatavaa tietoa käytetään työn aikana injektointitarpeen määrittelyyn kalliolaadun vaihteluista. Reikien poraamisesta on pidettävä pöytäkirjaa, josta ilmenee seuraavat tiedot:

- porarin nimi
- kohteen sijainti
- päivämäärä ja kellonajat
- reiän aloituskohta
- reiän koko ja suunta
- porarin arvio kallion laadusta
- havaitut raot ja rikkonaisuudet
- tunnustelureiän vuotovesivirtaama tai vesimenekkitulos.

Tehdyt havainnot sidotaan porausreiän pituuteen.



Kuva 3 Porausyksikkö tunneliperässä ja poraus käynnissä. Tunneliperän vasen kainalo on turvaruiskutettu.



Kuva 4 Porapuomi lähikuvassa

2.3 Vesimenekkikoe

Tunnustelureiät huuhdellaan porauksen jälkeen painevedellä. Huuhtelun jälkeen reikiin asennetaan mansetit. Jokaisessa reiässä tehdään vesimenekkimittaus esim. 0,5 MPa:n ylipaineella 5 min ajan muiden reikien mansettien ollessa suljettuina. Vesimenekkimittauksessa mitataan pumpattu vesimäärä ja aika. Ns. Lugeon arvo /2/ lasketaan seuraavasti (mittausväli = reikäpituus - mansetin syvyys):

$$Lug = \frac{\text{vesimäärä}}{\text{ylipainexmittausaikaxmittausväli}} = \frac{1}{M_{paxminxm}}$$

Lisäksi voidaan mitta-astialla mitata porareikien vuotovesivirtaama 1 dl tarkkuudella, sen jälkeen kun virtaava vesi on tasaantunut (porausvesi poistunut).

2.4 Sementtipohjaisten injektointimassojen laadunvalvonta

Sementtipohjaisten injektointimassojen laatu varmistetaan laadunvalvontakein.

- Tiheys varmistetaan Mud Balance -laitteella.
- Viskositeetti varmistetaan Marsh-suppilokokeella.

Injektoinnin saa aloittaa, kun reseptikohtaiset kriteerit täyttyvät tiheyden ja viskositeetin osalta. Jos kriteerit eivät täyty, massa hylätään ja selvitetään syy, ja tämän jälkeen sekoitetaan uusi massa. /3/



Kuva 5 Injektionnin laadunvalvontakoe eli Mud Ballance -testi, jolla tarkastellaan massan tiheyttä



Kuva 6 Injektointimassan tiheystarkastelu käynnissä



Kuva 7 Injektointimassan viskositeettitesti eli Marsh-suppilokoe

Viimeisestä injektointimassasta otetaan kuppeihin näytteet, joista seurataan varhaislujuuden kehitystä. Hyvälaatuisessa kalliossa seuraavan katkon porausta saa jatkaa, kun massan leikkauslujuus on n. 150 Pa (massa ei valu ulos vaakasuoraan käännetyssä kupissa). Kalliossa, jossa on isoja avoimia rakoja, suositellaan, että seuraavan katkon porausta jatketaan vasta kun massan leikkauslujuus on n. 500 Pa. /3/

2.5 Pulttaus

Kallion lujitustöihin kuuluu pulttaus. Lopullinen pultitus tapahtuu todellisten kallio-olosuhteiden perusteella. Pulttien paikat merkitään ohjeiden ja piirustusten mukaan. Pulttien juotoslaastin on saavutettava määrätty puristuslujuus esim. 20 Mpa, ennen kuin seuraava räjäyttäminen on sallittu. Välimatkan pulttauksesta tunneliperään on oltava vähintään 50 m. Väliaikaista lujituspulttausta käytetään silloin, kun kallion pysyvyyden varmistaminen tai louhinnan välitön jatkaminen vaatii nopeasti suoritettavan ja välittömästi kantavan lujituksen tekemistä. Väliaikaisina lujituspultteina käytetään CT-pultteja tai muita nopeasti kuormaa kantavia kalliopultteja. /4/

2.6 Harjateräspultit

Harjateräspultteina käytetään kuumasinkittyjä A500HW-laatuista pultteja, jotka ovat halkaisijaltaan 25 mm. Pultit juotetaan sementtilaastilla kallioon porattuihin reikiin. Pulttien porareitit on suunnattu piirustusten mukaisesti. Pultinreiän on oltava halkaisijaltaan 38 - 51 mm. Sen on oltava halkaisijaltaan vähintään 7 mm suurempi kuin reikään asennettava pultti, ja reiän pituuden on

oltava 50 mm suurempi kuin pultin pituus. Pulttien asentamisessa käytetään keskittimiä, joilla varmistetaan riittävä juotoslaasti pultin ympärillä. /4/

2.7 Juotoslaasti

Juotoslaasti sekoitetaan pikasementistä. Sekoitussuhde on paino-osin 1:1. Laastin koostumuksen on oltava sellainen, että laasti pysyy hyvin myös ylöspäin suuntautuvaan pystyreikään pumpattuna ja että laasti täyttää täydellisesti reiän ja reikään työnnetyn pultin välisen vapaan tilan. Laastissa voidaan käyttää betonin koossapysymistä parantavaa lisäainetta ja notkistavaa lisäainetta, vesi-sementtisuhte valitaan mahdollisimman alhaiseksi. Laasti sekoitetaan koneellisesti./4/

2.8 Pulttien juotostyö

Pultinreiät huuhdellaan puhtaalla painevedellä. Ne täytetään laastilla pumpun avulla aloittaen reiän pohjalta. Täyttöletku vedetään reiästä tasaisesti ja yhtäjaksoisesti siten, että reiän täyttyminen on jatkuvaa. Täyte jätetään pultin syrjäyttämän laastimäärän verran vajaaksi, jolloin reikä täyttyy kokonaan pulttia sisään työnnettäessä. Pultti työnnetään reikään tasaisesti ja yhtäjaksoisesti siten, että pultin ulkonemaa kalliopinnasta ei jää. /5/



Kuva 8 Pulttien juotto kalliuseinään käynnissä



Kuva 9 Pultituksessa käytettävää kalustoa

2.9 Pultitustöiden laadun valvonta

Juotoslaastin on täytettävä kauttaaltaan pultin ja reiän välinen vapaa tila. Vettä vuotavat pultit merkitään ja uusitaan. Jos uusikin pultinreikä vuotaa vettä, niin reikä injektoidaan ennen pultin asennusta. /5/

2.10 Ruiskubetonointi

Ruiskubetonointia on käytetty kallion lujittamisessa ja erilaisissa rakenteissa jo useita vuosikymmeniä. Ruiskubetonointi sai alkunsa Yhdysvalloissa vuonna 1907. Pennsylvanialainen Carl Ethan Akeley halusi laitteiston, jolla pystytettiin ruiskuttamaan laastia verkoista tehtyjen eläinhahmojen päälle. Akeley'n yritys Cement-Gun Company otti ruiskutettavalle laastille käyttöön nimen Gunit. Gunit-menetelmä perustui kuivaruiskutusmenetelmään, jossa betonin runkoaine ja sementti sekoitetaan keskenään ennen veden sekoittamista. Tarvittavan veden lisääminen tapahtuu vasta ruiskutuskaluston suuttimessa, johon betonin kuiva-aines on ohjattu paine-ilmalla. Massan ruiskuttaminen lopulliseen kohteeseen tapahtuu paineilmalla. /6/

Märkäruiskutusmenetelmä kehitettiin toisen maailmansodan jälkeen 1940-luvulla. Nykyään yli 70 % ruiskubetonoinneista tehdään märkäruiskutusmenetelmällä, jossa betonin osa-aineet sekoitetaan keskenään valmiiksi massaksi. Tämän jälkeen ruiskutettava massa ohjataan ruiskubetonointikaluston läpi. Ruiskutettava massa pumpataan suuttimeen mäntä- tai ruuvipumpulla, johon paineilma on yhdistetty. Ruiskutus tapahtuu paineilman voimalla. /6/

Ruiskubetonointiin käytettävän betonimassan raaka-aineissa ei ole tapahtunut muutoksia viime aikoina mutta betonimassaan sekoitettavien lisäaineiden kehitys on ollut merkittävä. Betonimassan ja kovettuneen betonin ominaisuuksiin vaikuttavien lisäaineiden kehitys on ollut voimakasta ja tulee varmasti tulevaisuudessa jatkumaan. /6/

Ruiskubetonointia käytetään kalliorakennuskohteissa ensisijaisesti työnaikaisessa ja lopullisessa kallionlujituksessa. Ruiskubetonin tehtävä on estää kallion muodonmuutokset sekä irtokivien tippuminen ja vuotovesien valuminen kalliotilaan. Työnaikaisen ruiskubetonoinnin tehtävänä on luoda turvalliset työskentelymahdollisuudet kalliotilassa. Louhintatyön turvallinen eteneminen onnistuu ainoastaan, jos tarvittava turvaruiskutus on suoritettu. Louhituissa kalliotiloissa, joissa on vaarana irtokivien tippuminen heikon kalliolaadun takia, tulisi ruiskubetonointi suorittaa heti rusnauksen jälkeen. Rusnauksella tarkoitetaan irtonaisen kiviaineksen poistamista tunneliperästä. Lopullisen ruiskubetonoinnin tehtävänä on toimia lujituksen lisäksi kallion vedeneristäjänä. Kalliotilan kuivuustason määrittelee käyttötarkoitus ja työn tilaaja. Kalliotilan ruiskubetonipinnat ovat ihmissilmään paremman näköiset kuin louhitu jälki. Kalliorakennuskohteet, jotka tulevat julkiseen käyttöön, ruiskubetonoidaan aina kauttaaltaan systemaattisesti. /6/



Kuva 10 Ruiskubetoniyksikkö työssään (märkäseosmenetelmä)



Kuva 11 Ruiskutettaessa on suuttimen oltava riittävän lähellä kohdetta



Kuva 12 Ruiskubetonoinnissa käytettävä kalusto (märkäsosmenetelmä)

3 MATERIAALIEN SEURANTA

3.1 Aiempi seuranta

Kakolan jätevedenpuhdistamon louhintatyömaalla injektoinnin seuranta perustui lähinnä sementtimenekin ja työntekijöiden ajankäytön seuraamiseen. Urakkasopimuksessa tiivistystyöt olivat niinsanottuja lisätöitä, ja niistä laskutettiin rakennuttajaa annettujen yksikkökustannusten mukaisesti. E18 tunnelityömailla injektointityöt kuuluvat urakkaan, jonka urakkamuotona on niinkutsuttu elinkaariurakka. Kallion tiivistystöiden dokumentoinnin taso oli tarkkaan määrätty työselostuksessa.

Pulttustöiden dokumentoidaan siten, että pulttien lukumäärät, sijainnit, suunnat ja pituudet voidaan piirustuksista jälkikäteen todeta. Pulttustyöt teetetään Skanska Infra Oy:n työmailla alaurakoitsijoilla.

Turun Seudun jätevedenpuhdistamon ruiskubetonitöitä seurattiin päivittäin massamäärien ja ajan funktiona. Ruiskutettua määrää verrattiin suunniteltuun ruiskutusmäärään, ja näitä määriä verrattiin työmaan aikatauluun.

E18 tunnelitöiden ruiskubetonoinnit ovat erittäin haasteelliset, koska tunnelien sisustustöitä pyritään tekemään välittömästi ruiskutustöiden valmistuttua.

3.2 Työvaiheiden osittelu ja jako eri osa-alueisiin

Kalliorakentamisen lujitus ja tiivistystöissä ollaan tekemisissä sementin kanssa. Sementti on yhteinen nimittäjä injektoinnille, pulttaukselle ja ruiskubetonoinnille. Näitä töitä voidaan pitää lujitus- ja tiivistystöiden pääosina. Seuraavaksi jokainen pääosa ositellaan erikseen niin pieniin osiin, että niiden kustannukset ja kestot voidaan määrittää. Perusosittelu tehdään pääasiassa rakenteellisesta näkökulmasta. Osittelun ansiosta pystytään töiden edetessä selvittämään, kuinka paljon esimerkiksi injektointisementtiä on kulunut, kun on saavutettu tietty paalulukema tunnelissa. Todellista sementtimenekkiä verrataan arvioituun kulutukseen, ja näin saadaan ajantasainen tieto siitä, onko arvioitu määrä oikea.

3.3 Injektointityön osittelu

Injektointityö jaetaan neljään eri osa-alueeseen. Tunnustelureiät ja vesimenekikokeiden tekeminen on ensimmäinen osa-alue injektointityössä. Seuraavana on esi-injektointi kalliotiloissa. Kolmas osa-alue on jälki-injektointi, joka on huomattavasti vähäisempi tehtävä kuin esi-injektointi. Osittelun neljäs osa-alue on injektointiaineet. Injektointityön osittelussa keskitytään injektointiin ja massamenekkiin. Injektoinnissa materiaalit ovat injektointisementti ja lisäaineena notkistin. Tarvittava kalusto on injektointiyksikkö ja suursäkkien nostoon tarvittava kaivinkone. Injektointireikien porauksessa käytetään porausjumboa. Injektointiyksikköön tarvitaan sementtisiilo, josta siirtoruuvilla sementti kuljetetaan sementtimyllyyn. Sementtimyllyssä raaka-aineet punni-

taan ja sekoitetaan, jonka jälkeen massa siirretään välisekoittajaan josta se pumpataan injektointireikiin.

3.4 Pultitustöiden osittelu

Pultitustyöt jaetaan viiteen eri osa-alueeseen. Ensimmäinen pultitustyö tehdään tunnelin ulkopuolelle. Seuraava osa-alue on tunnelityön edetessä ennakopultitus. Kolmas osa-alue on louhinnan keskeyttävä CT-pultitus. Neljäs osa-alue on HT-pultitus, joka tehdään systemaattisesti, ja se on osa-alueista tärkein, koska sen kustannusvaikutukset ovat suurimmat. Viidentenä osa-alueena on tartuntapultitus. Päähuomio on systemaattisessa harjateräspultituksessa. Tässä käytetään materiaaleina harjateräspultteja ja sementtiä. Pulttuksessa käytettävä kalusto on massan sekoitusyksikkö ja nostokoriyksikkö sekä pulttien kuljetustraktori trukkipiikeillä varustettuna. Pultinreikien porauksessa työkonena on porausjumbo.

3.5 Ruiskubetonoinnin osittelu

Ennen ruiskutustöiden aloittamista on kalliopinnat pestävä pölystä ja epäpuhauksista, jotta ruiskubetoni tarttuu kalliopintaan kiinni. Tunnelin suuaukon ulkopuolinen ruiskutus on osa-alueista ensimmäinen. Louhintaan välittömästi liittyvä turvaruiskutus on välttämätön työturvallisuustekijä ja osa-alueista toinen. Varsinainen ruiskubetonointi on kolmas ja ratkaiseva osa-alue, koska massamenekki on suuri ja kustannusvaikutukset ovat suurimmat. Ruiskubetonissa käytettävät materiaalit ovat teräskuitu, betoni ja kiihdytinaine. Ruiskubetonoinnissa tarvittavaa kalustoa ovat Normetin valmistama betoniruisku, ja valmisbetonia kuljettava kuorma-auto.

4 TIETOJEN KERUU OSA-ALUEITTAIN

4.1 Injektointipöytäkirja

Injektointipöytäkirjasta (liite1) käyvät ilmi kaikki olennaiset asiat, jotka liittyvät kallion tiivistämiseen. Kirjattavat asiat ovat seuraavat:

- injektoinnin kohde
- injektointiyksikkö
- sementin laatu
- lisäaineet
- päivämäärä
- aloitus- ja lopetusajat
- injektointireikien numerot
- porattujen reikien pituus
- halkaisija
- injektointitulpan syvyys reiässä
- lopetuspaine
- massamenekin tilavuus
- massan seossuhteet eli veden ja sementin suhde
- sementtimäärä
- veden määrä
- lisäaineen määrä
- injektointiaika
- ilman lämpötila
- injektioija, työnjohtaja ja tarkastaja
- huomautukset.

4.2 Pultituspöytäkirja

Pultituspöytäkirjasta (liite 2) käyvät ilmi asiat, jotka liittyvät kallion pultittamiseen:

- päivämäärä
- pulttityyppi
- paalulukema
- seinä- tai kattopultti
- pulttaaja.

4.3 Ruiskubetonipöytäkirja

Ruiskubetonipöytäkirjasta (liite 3) käyvät ilmi asiat, jotka liittyvät ruiskubetonointiin:

- kuormakirjan numero ja päivämäärä
- kuidullinen/kuiduton betoni
- ruiskutuksen aloitus ja lopetus kuormittain
- odotusaika
- tunneli johon betoni on ruiskutettu
- paalulukema ja paikka johon betoni on ruiskutettu kuormien määrä.

5 TIETOJEN SIJOITTAMINEN JÄRJESTELMÄÄN

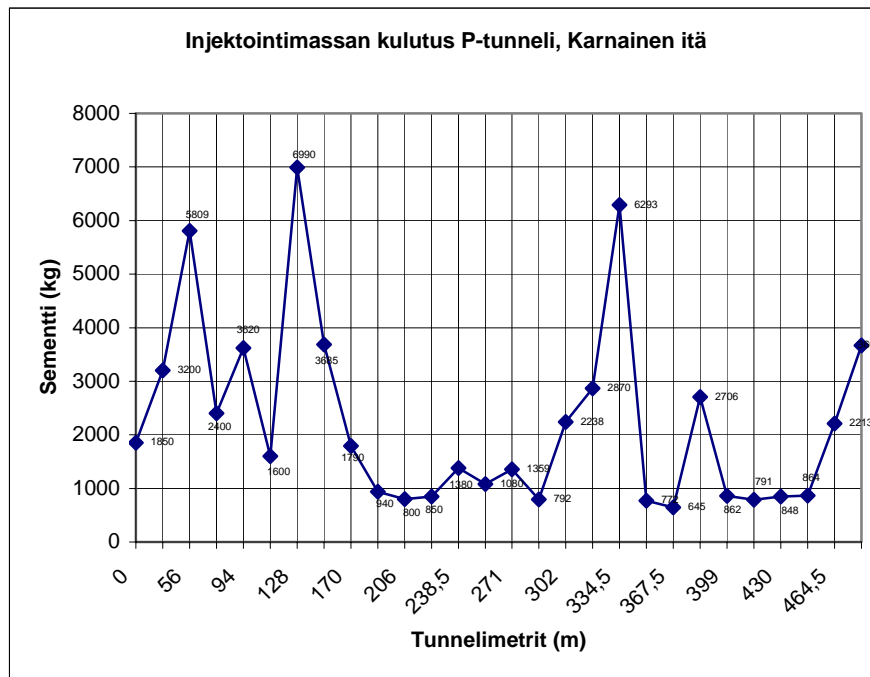
5.1 Injektointisementin kulutusseuranta

Injektointisementin kulutusta verrataan porametrimäärään joka saattaa vaihdella viuhkatyyppin mukaan. Saatu lukema antaa sementtikulutuksen/porametri injektoidulta paalulukemalta. Saatua lukemaa on helppo verrata toisiin injektointeihin. Kallion rikkonaisuudesta voi tehdä johtopäätöksiä paalulukemittain.

Taulukko 1 Injektointisementin kulutus pohjoistunnelissa

KARNAINEN ITÄ					
Käytetty injektointisementti					
Pohjoinen tunneli					
pk. nro	pvm	kg	kg/pom	viuhka	Paalulukku
2	25.3.2006	1850	4,64	2	0
5	4.4.2006	3200	4,17	3	20
1	21.3.2006	5809	7,56	3	56
7	10.4.2006	2400	6,25	1	76
9	20.4.2006	3620	9,43	1	94
11	27.4.2006	1600	4,17	1	112
13	4.5.2006	6990	18,20	1	128
15	11.5.2006	3685	9,60	1	147
17	21.5.2006	1790	4,66	1	170
19	27.5.2006	940	2,45	1	188
21	1.6.2006	800	2,08	1	206
23	7.6.2006	850	2,21	1	224
26	15.6.2006	1380	3,59	1	238,5
28	21.6.2006	1080	2,81	1	255,5
30	28.6.2006	1359	3,54	1	271
32	6.7.2006	792	2,06	1	288
34	11.7.2006	2238	5,83	1	302
36	18.7.2006	2870	7,47	1	318,5
38	25.7.2006	6293	10,85	3	334,5
40	1.8.2006	772	2,01	1	351,5
42	4.8.2006	645	1,68	1	367,5
44	10.8.2006	2706	7,05	1	382
46	16.8.2006	862	2,25	1	399
47	22.8.2006	791	2,06	1	414
49	28.8.2006	848	2,21	1	430
51	31.8.2006	864	2,25	1	447
53	6.9.2006	2213	6,59	1	464,5
55	12.9.2006	3669	10,92	1	480
57	17.9.2006	1165	3,47	1	497

Taulukosta selviää, että tunnelin suuaukolla kallio oli rikkonaisinta, koska injektointiviuhkoina olivat 2. ja 3.

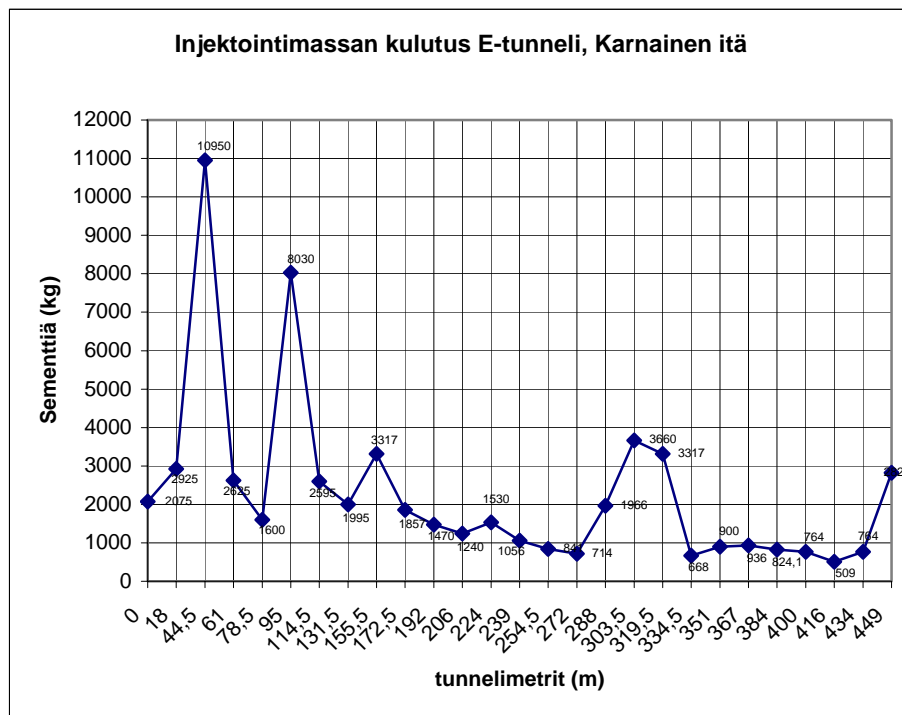


Kuva 13 Injektointisementin kulutus Karnaisten pohjoistunnelissa. Kallion rikkonaisuus on helposti havaittavissa sementtimenekin suuruudesta. Jos kalio on kiinteää, niin sementtimenekki on alle 1000 kg/injektointi.

Taulukko 2 Injektointisementin kulutus etelätunnelissa

Eteläinen tunneli					
pk. nro	pvm	kg	kg/pom	viuhka	Paaluluku
3	22.3.2006	2075	5,20	2	0
6	6.4.2006	2925	3,81	3	18
2	21.3.2006	10950	14,26	3	44,5
8	12.4.2006	2625	6,84	1	61
10	24.4.2006	1600	4,17	1	78,5
12	28.4.2006	8030	20,91	1	95
14	6.5.2006	2595	6,76	1	114,5
16	12.5.2006	1995	5,20	1	131,5
18	22.5.2006	3317	8,64	1	155,5
20	29.5.2006	1857	4,84	1	172,5
22	5.6.2006	1470	3,83	1	192
24	8.6.2006	1240	3,23	1	206
25	14.6.2006	1530	3,98	1	224
27	20.6.2006	1056	2,75	1	239
29	27.6.2006	841	2,19	1	254,5
31	3.7.2006	714	1,86	1	272
33	7.7.2006	1966	5,12	1	288
35	14.7.2006	3660	9,53	1	303,5
37	20.7.2006	3317	8,64	1	319,5
39	28.7.2006	668	1,74	1	334,5
41	3.8.2006	900	2,38	1	351
43	9.8.2006	936	2,44	1	367
45	15.8.2006	824,1	2,15	1	384
48	23.8.2006	764	1,99	1	400
50	29.8.2006	509	1,33	1	416
52	3.9.2006	764	2,27	1	434
54	8.9.2006	2826	8,41	1	449
56	14.9.2006	751	2,23	1	465
58	19.9.2006	842	2,51	1	482

Taulukosta voidaan todeta, että sementtimäärät eivät paljon vaihteile.



Kuva 14 Injektointisementin kulutus Karnaisten etelätunnelissa. Sementtimenekki oli suurinta tunnelin suuaukolla.

5.2 Pultituksen seuranta

Lopullinen pultitus tarkoittaa sitä, että tunneli on valmis ruiskubetonointia varten.

E-tunneli

0-522 Koko prof. pultitettu	524-546 Koko prof. porattu	Perä 629,5 9.11.2006
-----------------------------------	----------------------------------	----------------------------

P-tunneli

0-520 Koko prof. pultitettu	522-590 Koko prof. porattu	Perä 658,5 9.11.2006
-----------------------------------	----------------------------------	----------------------------

Kuva 15 Karnaisten tunneleiden pultituksen eteneminen. Eteläisen tunnelin kokonaispituus on 2 228 m. Pohjoisen tunnelin kokonaispituus on 2 224 m.

5.3 Ruiskubetonoinnin seuranta

Ruiskubetonointia seurataan betoniautojen kuormakirjojen tiedoista. Hukka-prosentti määritellään taulukossa 3 esitetyllä tavalla. Ruiskubetonin määrät (m³).

Taulukko 3. Ruiskubetonin hukkaprosentin määrittäminen

Karnainen

ruiskutettu			
kuitu	ilman	yht	
1549,5	1403	2952,5	
teoreettinen			
profiili	kuitu	ilman	yht
A	229,0	391,1	620,1
C	528,3	578,7	1107,0
E	178,1	65,0	243,1
turvaruisk.	480		480
	1186,3	643,7	2450,3

Hukka % 17,0
Hukkak. 1,2

Ruiskubetonoinnin laatua valvotaan koko työn ajan. Valmiille pinnoille aiheutuneet vauriot korjataan ruiskuttamalla 20 mm uutta ruiskubetonia vaurioituneen kohdan päälle. Teräskuidun määrää betonimassassa tutkitaan viikoittain kahdesta 10 l näytteestä, joista kuitumateriaali erotellaan magneetilla. Erotellut kuidut pestään ja punnitaan. Saatua tulosta verrataan suunniteltuun kuitumäärään. Ruiskubetonin puristuslujuus tutkitaan ottamalla poranäytteet valmiista rakenteesta. Ruiskubetonin paksuudet mitataan valmiiseen ruiskubetoniin poratuista rei'istä. Tarkistusreiät paikataan välittömästi vedenpitäviksi.

5.4 Raportointi

Betonoinnit raportoidaan välittömästi Skanska Infra Oy:n Intranet sivuille. Työmaiden tiedot sijaitsevat eri kohteissa. E18 tunnelitoilla on omat tiedotonsa. Työmaatiedot ovat kaikkien käytössä, joilla on käyttöoikeudet.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Työmaan edetessä nopeassa tahdissa ja kireällä aikataululla on tärkeää, että työmaatietojen dokumentointi on ajantasaista. Jos tietojen raportointi jää jälkeen, on valtava työ syöttää tiedot jälkikäteen asianmukaisiin tiedostoihin. Injektoinnin, pulttauksen ja ruiskubetonoinnin tiedot on toimitettava asianmukaisesti myös työn tilaajalle. E18 moottoritie Muurla-Lohjanharju on niin sanottu elinkaariurakka, jossa rakentamisen lisäksi kunnossapitovastuu on urakoitsijalla eli tässä tapauksessa työyhteisliittymä Lemcon-Skanssalla. Jos tulevaisuudessa tunneli esimerkiksi sortuu, niin dokumentointitiedoista saadaan selville, kuinka paljon esimerkiksi injektointimassaa on kyseiselle paaluluvulle mennyt tai kuinka paljon pultteja on tunnelin seinässä tai katossa.

Esi-injektoinnin jälkeen muutamissa kohdissa tunnelia on tippuvia vesivuotoja. Näitä vesivuotoja pyritään poistamaan jälki-injektoinnilla. Taloudellisesti merkittävin asia tunnelien lujitus- ja tiivistystyössä on injektoinnin onnistuminen, koska vesivuotokohdat on eristettävä ja eristystyöt ovat kustannuksiltaan kalliita.

Huolellisen injektoinnin ansiosta pystytään saamaan kallion laadusta tietoa etukäteen.

Pultituksen materiaalimenekkiin vaikuttaa täysin kallion laatu. Mikäli kallion laatu huononee, niin pulttauksen tarve lisääntyy. Pultituksella varmistetaan, että tunnelin profiili säilyy. Vastuu pultituksen riittävydestä kuuluu geologeille, jotka määräävät pultitustiheyden.

Ruiskubetonointi peittää louhintajäljet ja rikkonaisen kallion ja on ihmisilmälle hyvännäköinen. Tärkeimpien työvaiheiden merkitys korostuu ruiskubetonoinnissa. Tehokkailla työjärjestelyillä ja pitkälle viedyllä suunnitelmallisuudella saadaan aikaan merkittäviä säästöjä ja pysytään työmaan aikataulusa. Työmaalla ruiskubetonoinnin onnistumiseen vaikuttavat eniten työmaan liikennejärjestelyt, sähkövirran saanti, betonin kuljetus ja laatu sekä kiihdytin- aineen varastointi. Huolellisella aikataulusuunnittelulla pysytään kustannusarviossa ja laatutasossa.

Hyvin tehdyt työmaasuunnitelmat helpottavat työmaan toimintaa ja nostavat sen kustannustehokkuutta. Kustannustehokkuuden nostaminen ei saa tapahtua turvallisuuden kustannuksella. Kaluston huoltoon on kiinnitettävä erityistä huomiota ja tiettyjä varaosia on oltava työmaalla, jotta säästytään turhilta odotusajoilta.

LÄHDELUETTELO

1. Parkkinen Mauri, Kallion injektointi moniste 12.3.2003
2. Pöyry Oyj, E18 tunneleiden kalliorakennustyöt, työselostus 27.6.2006 19 s.
3. Pöyry Oyj, E18 tunneleiden kalliorakennustyöt, työselostus 27.6.2006 19 s.
4. Pöyry Oyj, E18 tunneleiden kalliorakennustyöt, työselostus 27.6.2006 19 s.
5. Pöyry Oyj, E18 tunneleiden kalliorakennustyöt, työselostus 27.6.2006 19 s.
6. Lyytinen T, diplomityö, 7.6.2006 Teknillinen Korkeakoulu, Ruiskubetonoinnin kustannusrakenne ja riippuvuudet kalliorakentamisessa 117 s.
7. Vuosaaren Vuosa-tunneliprojekti, kuvasarja internetissä projektin kotisivuilla.

LIITTELUETTELO

1. Injektointipöytäkirja
2. Pultituspöytäkirja
3. Injektointiporauskaavion valinta
4. Ruiskubetonipöytäkirja
5. Tunnustelu- ja injektointiviuhkojen porauskaaviot

Liite 1

SKANSKA TYL E 18

PVM : 13.11.2006

INJEKTOINTIPÖYTÄKIRJA NO : 76

Injektointikohde: **Karnainen Pohjoinen PL (658) 107230**Työvuoro: PV **AV**

Aloitusaika: 08.00

Injektointiyksikkö: Unigrout

Lopetus aika: 11.00

Sementin laatu: Rheochem 650

Lisäaineet: Rheobuild 2000 PF

Reiän			Inj.- tulpan syvyys reiässä	Lopetus paine/5 min	Tilavuus	Massan seossuhet				Injektointi aika		Ilman lämpötila	Huomautuksia
No	mm	Pit. m	m	bar	l	Vesi/sem- suhde	Sem (kg)	Vesi (l)	Lisää (kg)	H	min	°C	Kaikki reiät kuivia
1	54	21	2.5	32	526,1	1	400	400	6,0		50		
2	54	21	2.5	33	40,6	1	31	31	0,5		7		
3	54	21	2.5	33	39,9	1	30	30	0,5		7		
4	54	21	2.5	32	42,9	1	33	33	0,5		7		
5	54	21	2.5	34	43,7	1	33	33	0,5		8		
6	54	21	2.5	33	399,4	1	304	304	4,6		47		
7	54	21	2.5	34	47,3	1	36	36	0,5		7		
8	54	21	2.5	35	46,1	1	35	35	0,5		7		
9	54	21	2.5	36	45,2	1	34	34	0,5		7		
10	54	21	2.5	32	43,7	1	33	33	0,5		7		
11	54	21	2.5	33	46,8	1	36	36	0,5		9		
12	54	21	2.5	33	52,7	1	40	40	0,6		11		
13	54	21	2.5	35	46,6	1	35	35	0,5		7		
14	54	21	2.5	35	40,3	1	31	31	0,5		7		
15	54	21	2.5	34	45,2	1	34	34	0,5		11		
16	54	21	2.5	34	44,7	1	34	34	0,5		6		
							0	0	0,0				
							0	0	0,0				
TOTAL					1551,2		1180	1180	17,7	3	25		

Pöytäkirjanpitäjä Jari Huhtala

Tarkastanut: Bo Hedberg

Työnjohtaja: Arto Savonen

LOPULLINEN PULTTAUS-
pöytäkirja

Karnainen Itä

[illegible]

P	E
8-24	2-20
26-44	28-34
46-64	36-70
66-76	70-106
78-104	108-116
106-114	116-324
116-172	
172-304	

PL 150 -> P-tunneli po

PLV 85-90, 2 pulttia p

PL 100, 1 pultti asent:

PL 114 1 pultti asenta

Tämä menetelmä koskee alueita, joille on alun perin määritetty tehtäväksi systemaattinen viuhkatyyppi 3:n mukainen injektointi.

Tunnustelureikien poraus ja vuotovesimittaus

1. Porataan 8 tunnustelureikää viuhkan 1 (joka toinen reikä porataan) kaavion mukaisesti. *Reikien pituus kirjataan havaintolomakkeeseen*
2. Reiät huuhdellaan
3. Asetetaan mansetit paikoilleen riittävän syvälle (1..2 m). *Mansetin syvyys kirjataan havaintolomakkeeseen*

Mitataan ulos virtaavan veden määrä kaikista reiästä. *Kirjataan havaintolomakkeeseen.*

Vesimenekikokeen suoritus

4. Reissä, joita ei testata, tulee olla mansetit, hanat suljettuina vesimenekki kokeen ajan
 5. Suoritetaan vesimenekki koke neljässä (4) reiässä (joka toinen reikä).
 6. Mansettiin syötetään vettä, kunnes määritetty paine (0,5Mpa+ pvp) saavutetaan. (n. 5 min. yleensä). *Käytetty paine kirjataan havaintolomakkeeseen.*
 7. Kun määritetty paine on vakio, aloitetaan vesimittaus.
 8. Reikään menevä vesimäärä mitataan viiden(5) minuutin ajalta virtausmittarilla. *Tulos kirjataan havaintolomakkeeseen*
 9. Mittauksen jälkeen vedensyöttö katkaistaan ja painemittarista seurataan mihin arvoon paine laskee(= pohjaveden paine). *Pvp kirjataan havaintolomakkeeseen*
 10. Määritetään Lugeon arvo¹
 11. Valitaan porattava viuhkatyyppi seuraavasti²
- | | |
|----------|-------------|
| Viuhka 1 | Lu < 1 |
| Viuhka 2 | 1 < Lu < 10 |
| Viuhka 3 | Lu > 10 |

¹ Lugeon = $\frac{Q}{t L(P_m - P_p)}$

$$t L(P_m - P_p)$$

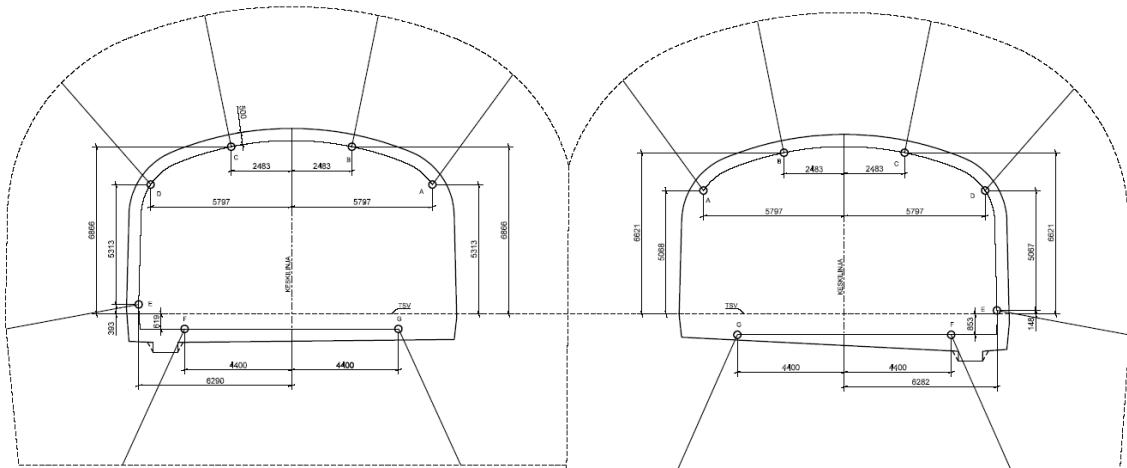
jossa

Q = mitattu vesimäärä, litraa
t = mittausaika, min
L = mittauspituus (reiän pituus- mansetin syvyys)
P_m = mittauspaine
P_p = pohjavedenpaine (paine mittauksen jälkeen)

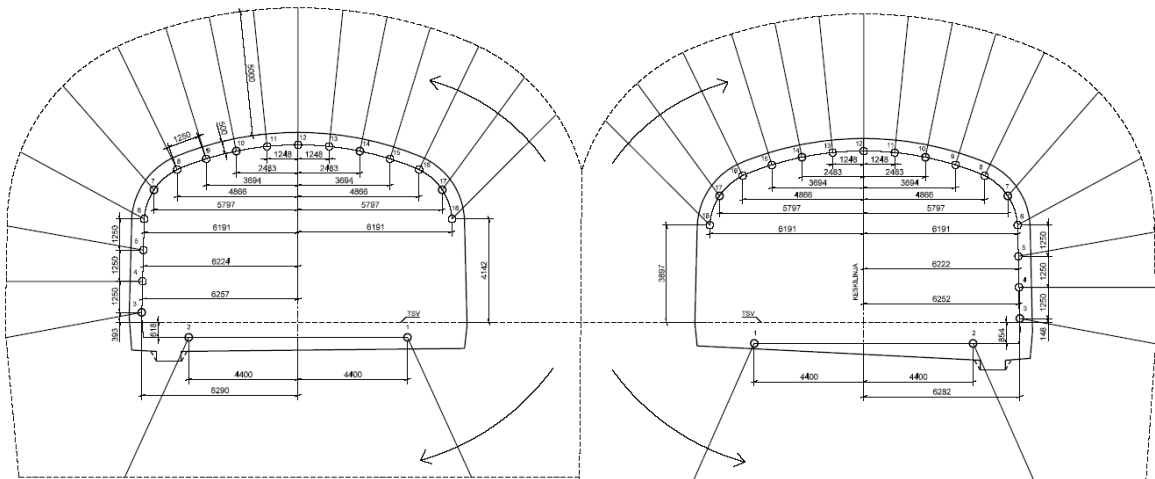
² Suunnittelijalta tarkistettavat arvot 8.6.

Liite 4

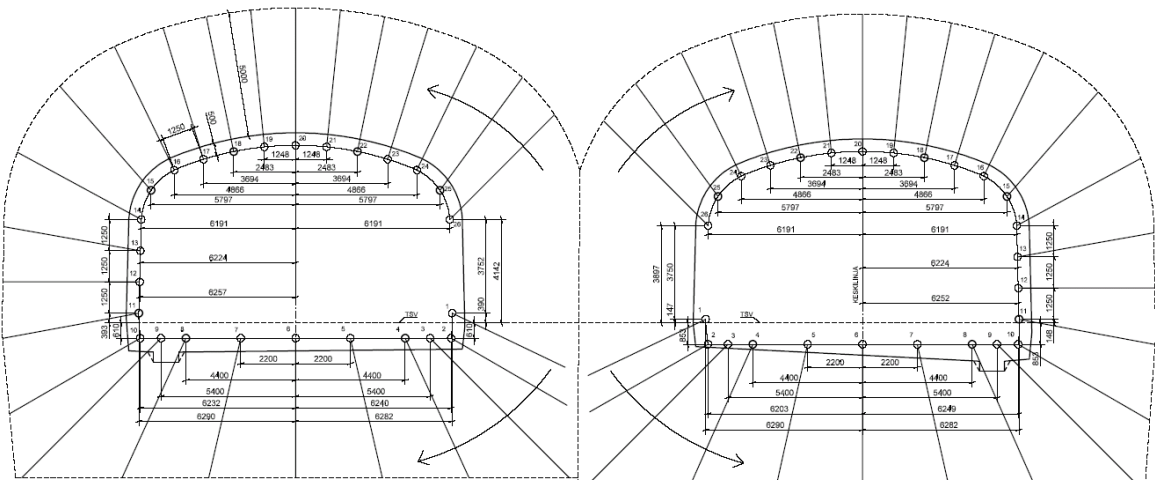
[illegible]



Tunnustelureikien porauskaavio



Injektointiviuhka 1 porauskaavio



Injektointiviuhka 3 porauskaavio